

Bursa de valori – o abordare cibernetica

Conf.dr. Bogdan GHILIC-MICU, prep. Marian Gh. STOICA
Catedra de Informatica Economica, A.S.E. Bucuresti

Bursele de valori sunt pietele special organizate în vederea asigurării cadrului legal pentru încheierea tranzacțiilor cu titluri financiare: acțiuni, obligațiuni, titluri de rentă, titluri cu garanții ipotecare, bonuri de tezaur etc. Aproape în toate statele cu economie de piață, precum și în marile centre comerciale funcționează burse locale sau internaționale care asigură existența unei piețe pentru titluri financiare, localizarea tranzacțiilor, desfășurarea acestora pe baze concurențiale și unde partile contractante încheie operațiunile prin intermediul agenților de schimb.

Cuvinte cheie: bursa de valori, sistem cibernetic, feed-back, entropie, sinergie, haos, fractali.

1. Abordarea sistemică a bursei de valori

Structura funcțională a bursei de valori (figura 1), ca ansamblu format din elemente-

le și conexiunile interne sistemului, asigură coerența și sugerează frontiera acestuia, frontiera care delimitează spațiul de manifestare.

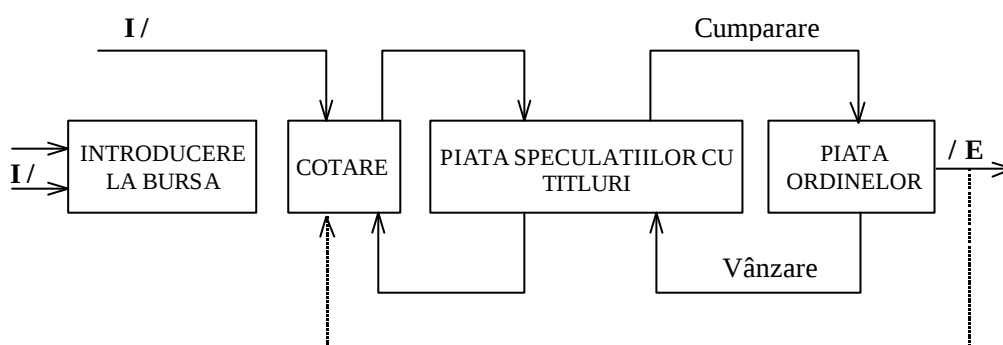


Fig. 1. Structura funcțională a bursei de valori

Conexiunile externe ale sistemului bursier fac posibile interacțiuni cu alte sisteme sau subsisteme economice sau mondoeconomice: societăți comerciale, persoane particulare, organizații de stat, bănci și instituții financiare etc. Conexiunile externe, împreună cu cele interne, vor influența soluțiile ecuației cerere-oferta de titluri, prin care este cuantificată politica bursei de valori și care acționează din interiorul sistemului bursier pentru atingerea obiectivului stabilit. Structura și conexiunile sistemului determină o anumită evoluție a acestuia, măsurată la un anumit moment de timp prin starea sistemului. Variațiile dinamice, ca rezultat al reacțiilor bursei la impulsurile exterioare și

la modificările parametrice interne, concretizate în modificarea stării, determină comportamentul sistemului.

♦ **Modelul conceptual al sistemului bursier** presupune măsurarea gradului de îndeplinire a obiectivului sistemului (rațiunea existenței sistemului bursier, eficiența bursieră, echilibrul pieței) cuantificat prin indicatorul de performanță. Marimea indicatorului performanță a sistemului bursier depinde, în mare măsură, de cantitatea de resurse aflate sub controlul procedurilor de luare a deciziilor, care vor determina limitele sistemului: informaționale, financiare, umane, tehnologice etc. Deoarece bursa de valori este un subsistem al sistemului pieței de capital ea

se încadrează într-o ierarhie de sisteme care plasează sistemul bursier la un anumit *nivel de rezoluție*.

♦ **Modelul abstract al sistemului bursier** presupune abordarea acestuia ca o entitate fizică, în interiorul căreia există o ordonare convenabilă a unor elemente care, prin interdependența lor, alcătuiesc un mecanism funcțional. Pentru sistemul bursier, vectorul variabilelor de intrare ($u \in U \hat{\sim} \mathbb{R}^p$) poate conține elemente referitoare la: situația economică a firmelor cotate, cantitatea de titluri tranzactionate în sedințele anterioare, ultimele cotații, factorii macroeconomici de natură socială sau politică, atitudinea actorilor bursieri față de risc și față de investiție etc. Vectorul variabilelor de ieșire ($y \in Y \hat{\sim} \mathbb{R}^n$) va furniza, în primul rând, indicii bursieri, cotațiile minime și maxime, cantitatea și valoarea titlurilor tranzactionate. Elementele de intrare/ieșire vor fi cuantificate prin diferite metode, pentru constituirea lor în parametri de analiză a sistemului bursier și a comportamentului acestuia. În etapa finală a elaborării modelului abstract al sistemului bursier se vor asocia tablourile de valori u și y o serie de funcții care să le definească complet pentru orice valoare a variabilei timp. Prin asocierea funcțiilor w pentru intrările u și g pentru ieșirile y se vor determina *domeniul comenzilor admisibile* W și *domeniul rezultatelor posibile*:

$$G: \Omega = \{ \omega: T \rightarrow U \}; \Gamma = \{ \gamma: T \rightarrow Y \}.$$

Funcțiile de intrare w sunt funcții de comandă, fiind complet exterioare sistemului și nu pot fi influențate de acesta. Valorile variabilelor de ieșire definite de mulțimea G a funcțiilor de ieșire sunt determinate atât de variabilele de intrare cât și de structura sistemului.

♦ **Modelul analitic al sistemului bursier** presupune exprimarea matematică a dependenței dintre intrări și ieșiri, care implică identificarea completă a funcției $f(\omega) = \gamma$ și definirea variabilelor de stare $x \in X \subset \mathbb{R}^m$, unde X reprezintă spațiul stărilor. În cazul bursei de valori, datorită setului mare de variabile de intrare greu cuantifica-

bile, domeniul soluțiilor admisibile W (constituit prin funcțiile de intrare w) și domeniul rezultatelor posibile G (constituit prin funcțiile de ieșire g) nu pot fi complet determinate. Funcțiile de comandă w , nefiind apriori cunoscute, pot fi exprimate printr-o funcție de probabilitate $u = P_u(t)$, $t \in [t_0, t_f]$. În același timp, și ieșirile pot fi exprimate probabilistic prin funcția $y = P_y(t)$, $t \in [t_0, t_f]$. Elaborarea modelului analitic al sistemului bursier prezintă particularități derivate din imposibilitatea de a cunoaște apriori funcțiile de comandă w prin intermediul cărora vor fi exprimate în formă matematică variabilele de intrare. În scopul depășirii neajunsului se vor folosi tehnici de analiză specifice fiecărei variabile de intrare.

♦ **Modelul topologic al sistemului bursier** se bazează pe proprietățile spațiilor topologice definite de variabilele de intrare u și de variabilele de ieșire y ale sistemului respectiv. În aceste condiții, valorile $u = \omega(t)$ și $y = \gamma(t)$ reprezintă *hiperpuncte* în spațiile corespunzătoare. Multimile de hiperpuncte corespunzătoare unei anumite stări a sistemului, $x = (x_a, x_b)$, vor determina în spațiile respective *traectorii de stare* (dacă aceste traectorii sunt reprezentate în spațiile $\mathbb{R}^p$ și $\mathbb{R}^n$) sau *traectorii de fază* (dacă sunt reprezentate în spațiile $\mathbb{R}^{p+1}$ și $\mathbb{R}^{n+1}$).

Avantajul construirii modelului topologic pentru sistemul cibernetic al bursei de valori rezidă în proprietățile spațiilor topologice $\mathbb{R}^p$, $\mathbb{R}^n$ și $\mathbb{R}^m$, definite de multimile variabilelor de intrare, de ieșire și de stare ale sistemului. Aceste proprietăți conferă bursei de valori, o dată în plus, caracteristici complete ale sistemelor dinamice: deschidere, cu reacție inversă, complexitate și dinamică.

2. Principiul emergentei

Bursa de valori, fiind un sistem cibernetic, se organizează și funcționează după legiti și principii generale, adaptate sistemelor financiare: *legea varietății necesare*, *principiul complementarității externe*, *principiul entropiei negative*, *principiul emergentei*.

Principiul emergentei stabileste ca functionarea interdependentă, dar concomitentă, a elementelor sistemului asigura obtinerea unui efect mai mare decât suma efectelor componentelor în functionare independentă. Specific sistemelor cibernetice, efectul sinergic se manifesta la nivelurile organizational si functional, ca urmare a interconditiilor dintre proprietatile componentelor sistemice si proprietatile sistemului în ansamblu. Aceasta caracteristica va influenta în mod direct comportamentul sistemului si capacitatea acestuia de autoreglare în cazul unor modificari ale parametrilor de mediu, acestea reflectându-se asupra masurii eficientei sistemului. Efectul sinergic al unui sistem S cu n subsisteme componente S^i este data de relatia:

$$I(S) = \sum_{i=1}^n W^i(S^i) + \Delta(S^1, \dots, S^n) \quad (1)$$

unde $I(S)$ reprezinta efectul integral al sistemului, $W^i(S^i)$ reprezinta efectul functionarii izolate a subsistemului S^i , iar $\Delta(S^1 \dots S^n)$ reprezinta efectul sinergic al functionarii interdependente a celor n subsisteme componente.

În cazul sistemului bursier, dacă vom considera ca subsisteme componente doar cota-re (C), piata speculatiilor cu titluri (PST) si piata ordinelor (PO) (figura 1), efectul functionarii izolate va fi dat de relatia:

$$\sum_{i=1}^3 W^i(S^i) = W(C) + W(PST) + W(PO) \quad (2)$$

Efectul functionarii interdependente va fi reprezentata de o suma de functii de cuplare a elementelor componente:

$$\Delta(C, PST, PO) = f(W(C), W(PST), W(PO)) + g(W(C), W(PST)) + h(W(C), W(PO)) + l(W(PST), W(PO)) \quad (3)$$

Efectul emergent al sistemului poate actiona pozitiv, determinând cresterea efectului integral, sau negativ, determinând micșorarea nivelului acestuia, existând posibilitatea unei analogii între efectul emergent si decizia de grup. Pentru fiecare subsistem al bursei de valori se pot evidentia componentele sale si se poate calcula efectul integral al subsistemului. Datorita complexitatii sistemului bursier, principiul sinergiei poate fi initial apli-

cat ca principiu al complementaritatii sinergice la nivel de subsistem component si apoi extins ca principiu al emergentei la nivelul sistemului global.

3. Parametrii comportamentului sistemului bursier

În cadrul sistemului bursier, toate formele de manifestare comportamentala coexista si se interconditioneaza reciproc. Prin excelenta, latura substantiala este abordata în anatomie si biochimie, latura energetica în biofizica si biomecanica, iar latura informatională în fiziologie si psihologie. Tabloul comportamental de ansamblu al sistemului cibernetic al bursei de valori se va construi pe cele trei mari coordonate de definitie.

Coordonata substantiala a interactiunii sistem-mediu va fi edificata pe totalitatea titlurilor de valoare (actiuni, obligatiuni, titluri de renta, titluri de garantii ipotecare, bonuri de tezaur etc.) tranzactionate în sistemul bursier de către agentii de bursa. Coordonata, ca rezultat direct al jocului cerere-oferta de titluri, va furniza o parte din instrumentele de analiza a comportamentului sistemului (parametrii controlabili fiind indicii privind volumul tranzactiilor bursiere), de reglare si de cooperare a sistemului.

Coordonata energetica, ca parametru comportamental al interactiunii sistem bursier-economie nationala (sau mondoeconomie) masoara cantitatea de moneda vehiculata prin tranzactiile bursiere, cantitate care poate conduce la declansarea unei oscilatii a "constantelor" psihologice ale actorilor bursieri (investitori si agenti de bursa), imprimând astfel un comportament homeostazic sistemului bursier. Coordonata va furniza pentru analiza parametri controlabili (indici privind valoarea tranzactiilor bursiere), parametri necontrolabili (atitudinea actorilor bursieri fata de risc) si o parte din instrumentele necesare pentru reglarea de stabilizare (homeostazica).

Coordonata informatională, dependentă calitativ de nivelul tezaurului de cunostinte ale actorului bursier, se va construi pe baza

cunostintelor acumulate de participantii pe piata bursiera, conducând la restructurarea si stabilirea unor conexiuni noi între cunostinte si, implicit, între elementele sistemului bursier. Acest element al tabloului de definitie reprezinta principalul nivel pentru analiza sinergica a comportamentului sistemului cibernetic al bursei de valori.

4. Reglarea sistemului bursier

Datorita interdependentelor între factorii economici, sociali, politici, psihologici, nationali si internationali, variabilitatea cursului bursier al unei valori mobiliare atrage modificari în lant asupra cursurilor bursiere ale altor valori la bursa.

♦ **Dualitatea “risc-câstig” - dimensiune a eficientei bursiere.** Pretul la care se negociaza titlurile mobiliare ascunde doua tendinte: de maximizare a rentabilitatii unui titlu si de minimizare a riscului specific oricarui titlu. Ambele tendinte se refera la dividendele/dobânzile obtinute la sfârșitul anului financiar, la dualitatea risc-câstig. Una din problemele actuale pentru teoria si practica economiei de piata o reprezinta eficienta pietelor financiare. Analiza eficientei pietelor financiare nu poate fi efectuata luând în considerare numai vectorii de efort si efect, deoarece aceasta trebuie sa se refere, în primul rând, la comportamentul participantilor pe pietele financiare.

Studiile empirice efectuate pe principalele piete financiare asupra comportamentului diferitelor titluri mobiliare, a masurilor macrofinanciare (rata dobânzii, rata de schimb, rata inflatiei) demonstreaza ca eficienta financiara depinde de comportamentul participantilor pe pietele financiare si de capacitatea lor de evaluare “corecta” a activelor tranzactionate. Potrivit acestui obiectiv, conceptul de eficienta financiara poate fi definit si analizat în trei dimensiuni: *eficienta informationala*, *rationalitatea comportamentului investitorilor* si *eficienta organizationala*.

♦ **Dualitatea “speculatie-investitie” - caz particular al eficientei bursiere.** Anomaliile surprinse de studiile efectuate se refera,

în special, la anumiți indicatori utilizati în analiza financiara: multiplicatorul bursier (PER), evolutia cursurilor la sfârșit de saptamâna, la sfârșit de an, volumul tranzactiilor din anumite perioade, oscilatiile bursiere în perioadele premergatoare alegerilor locale, parlamentare (eventual, prezidentiale) etc. Fenomenul bursier este dependent si de o multime de factori sociali, psihologici, politici, mult mai greu de cuantificat, dar a caror influenta este, în anumite momente, majoritara. Efectul influentei acestor factori a fost analizat, în ultimii ani, de o serie de studii de specialitate, al caror rezultat reprezinta o baza importanta de informatii în activitatea decizionala a unei investitii bursiere, pentru anumite perioade de timp.

♦ **Zona de reglare a sistemului bursier.** Comportamentul homeostazic al sistemului bursier, caracterizat de autoorganizare pe principiul cautarii statistice a regimului de functionare stabila are la baza mecanismul feed-back-ului negativ. Rolul feed-back-ului negativ rezida în asigurarea asimilarii unei multimi întinse si variate de influente externe, prin intermediul structurilor organizatorice, functionale, informationale si juridice, pentru crearea “zonei de reglare”, în urma transformarii informationale si reactiilor de raspuns declansate de aparitia unor oscilatii în evolutia parametrilor utilizati. În functie de natura sarcinilor care urmeaza a fi rezolvate, reglarea poate lua diferite forme: *reglarea de stabilizare* (homeostazica); *reglarea programata*; *reglarea competitiva*; *reglarea de cooperare*; *reglarea de dezvoltare*.

♦ **Modele de reglare în timp continuu a sistemului bursier.** Modelele generale ale stabilitatii si echilibrului sistemului bursier sunt variante ale unor modele clasice de reglare în timp continuu a proceselor economice.

1. *Modelul Hicks* este agregat, de tip multiplicator de echilibru dinamic al evolutiei bursiere:

$$Y_t = C_t + I_t + G_t; C_t = aY_{t-1}; I_t = b(Y_{t-1} - Y_{t-2}) \quad (4)$$

unde: Y_t este valoarea totala a tranzactiilor dintr-o sedinta; G_t este valoarea tranzactiilor în care bursa a fost parte; I_t este valoarea

titlurilor achizitionate de societati necotate sau de persoane fizice; G_t este valoarea titlurilor achizitionate de societati cotate; $a \in (0,1)$ reprezinta propensiunea spre consum; $b > 0$ reprezinta acceleratorul.

2. Metoda directa de analiza a stabilitatii si echilibrului dinamic este fundamentata pe proprietatea de liniaritate a sistemului dinamic bursier:

$$\frac{dy}{dt} = Ay(t) - Bu(t) \quad (5),$$

unde **A** si **B** reprezinta operatori multipli matriceali, **y** reprezinta variabilele de iesire, iar **u** reprezinta variabilele de intrare.

Aceasta permite descompunerea activa a solutiei în *componenta proprie* (inertiala), dedusa ca solutie generala a sistemului (5) si *componenta de dirijare*, dedusa ca solutie particulara a aceluiasi sistem. În cazul bursei, metoda directa va fi aplicata corespunzator variabilelor de intrare/iesire specifice. Astfel, vectorul **y** poate include cererea, oferta, preturile, iar vectorul **u** poate contine cererea, oferta, cotationile, parametrii comportamentali etc.

3. Metoda Liapunov este rapida si nu necesita rezolvarea sistemului (5), deoarece foloseste proprietatile structurale ale modelului mecanismului de reglare, prin identificarea functiei Liapunov $V: Y \rightarrow R$. În aceste conditii, daca pentru sistemul dinamic bursier exista o functie Liapunov, se poate deduce ca bursa este stabila.

5. Paradigme moderne ale bursei de valori

Dominanta din ultimii 40 de ani a paradigmei liniare în domeniul analizei economice este înlaturata astazi de existenta manifestarilor haotice, neliniare, ale fenomenelor economice, de analiza complexitatii sistemelor, de teoria haosului.

♦ **Paradigma neliniara.** Precizia metodelor de analiza si prognoza a fenomenului bursier constituie un subiect de interes permanent, deopotriiva pentru cercetatori si practicieni. Progresele din domeniu au conturat cinci directii paralele si independente ale prognozei cantitative: modele economi-

ce; metode intuitive; metode statistice complexe; metode statistice simple; metode liniare si neliniare de extrapolare. Dezvoltarea metodelor si modelelor de analiza si prognoza ale seriilor dinamice de date economico-financiare, în general, si bursiere, în special, a fost si este, mai ales în continuare, determinata de utilizarea calculatoarelor. Decizia asistata de calculator s-a transformat din alternativa în necesitate si posibilitate.

♦ **Prognoza bazata pe teoria functiilor de crestere.** *Cresterea* se defineste ca evolutia sistemului în ansamblul sau (sau a unor caracteristici majore ale acestuia), de la niveluri inferioare la niveluri superioare. Cresterea este în general monotona, adica rata de crestere (sau prima derivata a functiei de crestere) este continua si pozitiva în timp si este limitata. Literatura de specialitate include un numar considerabil de functii de crestere, clasificate, dupa diferite criterii, în: continue/discrete; deterministe/stohastice; simple/complexe; binomiale etc.

Functia fenomenelor bursiere este cu predictie modelata binomial, cu rezultate variabile, utilizând serii dinamice pe termen mediu si lung. În functie de forma pe care o ia factorul de descrestere, s-au dezvoltat o serie de modele de crestere sub forma de ecuatii diferentiale.

♦ **Prognoza bazata pe modelele statistice neliniare.** Aplicarea modelelor statistice liniare, utilizate si testate pe serii mari de date provenite de la marile burse de valori, a dat rezultate bune, din cel puțin trei considerente: • teoria statistica este bine fundamentata pentru modelele liniare gaussiene; • rezultatele se încadreaza, într-o prima faza, în liniile acceptabile de prognoza; • pachetele de programe destinate analizei liniare sunt acceptabile pentru estimarea si diagnosticarea seriilor dinamice bursiere.

În ultimii ani s-a observat un interes deosebit al analistilor financiari privind modelarea activitatii bursiere cu ajutorul modelelor neliniare, care surprind o serie de factori importanti si determinanti pentru o prognoza exacta a rentabilitatii si riscului unui titlu mobilier, ale unui portofoliu de

titluri sau ale pietei, în general. Plecând de la observatia empirica a evolutiei rentabilitatii, care, de cele mai multe ori, nu urmeaza o traiectorie liniara, s-au construit o serie de modele neliniare, cele mai utilizate în literatura de specialitate fiind: modelul ARCH (autoregressive conditional heteroskedastic) elaborat de R. Engle în 1982; modelul ARCH generalizat (GARCH) elaborat de T. Bollerslev în 1986; modelul GARCH exponential (EGARCH), elaborat de D.B.Nelson în 1991.

♦ **Paradigmele haotica si fractala.** Pentru analiza comportamentului sistemului bursier din perspectiva haotica au fost adaptate o serie de sisteme haotice si de concepte fundamentale ale haosului si geometriei fractale. Un model simplificat al unui sistem cibernetic cu feed-back autoreglator, format de o piata pe care se tranzactioneaza un singur produs financiar, are ca parametri pretul $p(t)$, înregistrat în saptamâna t . Presupunând ca agentii bursieri doresc o crestere rapida a pretului actiunii saptamânal cu o rata $A > 1$, atunci ecuatie pretului pentru saptamâna urmatoare va fi $p(t+1) = Ap(t)$. Cu cât valoarea parametrului A creste, cu atât parabola devine mai abrupta, dar forma sa nu se modifica foarte mult. Cu toate acestea, seria data $p(t)$, generata de ecuatie, își modifica comportamentul în functie de valoarea pe care o ia parametrul A . Daca se cunoaste exact valoarea functiei $p(t)$, se poate prognoza exact valoarea lui $p(t+1)$. Pe de alta parte, prin definitie, un proces aleator nu poate fi prognozat. Astfel, suntem în fata a doua mecanisme fundamentale diametral opuse: unul aleator si altul determinist, care produc secvente de valori mai mult sau mai putin identice.

Prin calculul dimensiunii fractale a unor serii de date bursiere putem face comparatii între diferite titluri de valoare în directia riscului sau volatilitatii acestora. Deoarece distributia dividendelor din titluri financiare nu este una normala, abaterea standard ca masura a riscului comparativ devine insuficienta, o parte a complementaritatii fiind atribuita dimensiunii fractale.

♦ **Metodologia haotico-fractala.** Fractalii reusesc o descriere foarte buna a comportamentului bursei, dar nu explica acest comportament. Pentru aceasta trebuie elaborata metodologia haotico-fractala, care îmbina unitar caracteristicile haotice ale sistemului bursier (sistem dinamic complex) cu elementele de natura geometrica ale teoriei fractale. Dintre caracteristicile sistemului bursier, cea mai importanta pentru construirea metodologiei haotico-fractale este senzitivitatea conditiilor initiale: o modificare foarte mica a vectorului de intrare conduce la modificari majore ale elementelor de iesire. Cauzele existentei acestei caracteristici la nivelul sistemului bursier se regasesc în atributul de sistem feed-back si în existenta *nivelurilor critice*.

Feed-back-ul negativ conduce la propagarea modificarii initiale spre iesirile sistemului, de unde este preluata, amplificata si reintrodusa în sistem. Nivelurile critice sunt reprezentate de "constantele" parametrice care asigura functionarea eficienta a bursei, înlăturând posibilitatea trecerii acesteia de la un comportament stabil la unul instabil. În aceste conditii, elementele definitorii ale metodologiei de analiza a sistemului feed-back nelinier al bursei de valbri includ senzitivitatea conditiilor initiale, nivelurile critice si dimensiunea fractala.

Bibliografie

1. Cao, C.Q., Tsay, R.S. - Nonlinear time-series analysis of stock volatilities, Ed. John Wiley&Sons Ltd., 1993
2. De Grauwe, P., Dewachter, H., Embrechts, M. - Exchange Rate Theory. Chaotic Models of Foreign Exchange Markets, Blackwell, Oxford UK&Cambridge USA, 1993
3. Golu, M. - Principii de psihologie cibernetica, Ed. Stiintifica si Enciclopedica, Bucuresti, 1975
4. Peters, E.E. - Chaos and order in the Capital Markets, John Wiley&Sons, USA, 1996